

УДК 620.314 (075.8)

UDC 620.314 (075.8)

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**СТАБИЛИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ
СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ****VOLTAGE REGULATION OF SOLAR POWER
PLANTS AUTONOMOUS INVERTERS**

Григораш Олег Владимирович
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
grigorasch61@mail.ru
РИНЦ SPIN-код 4729-2767

Grigorash Oleg Vladimirovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the
chair, grigorasch61@mail.ru
RSCI SPIN-code 4729-2767

Попучиева Мария Александровна
студентка
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар,
Россия*

Popuchieva Maria Alexandrovna
student
*Kuban state agrarian University named after
I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

В сельскохозяйственном производстве актуальным является направление внедрения возобновляемых источников энергии для электроснабжения потребителей отдаленных от внешней электрической сети. Здесь широкие перспективы раскрываются перед солнечными фотоэлектрическими станциями. Одним из основных функциональных узлов солнечных электростанций являются инверторы, преобразующие напряжение постоянного тока солнечных батарей в переменный ток. В статье раскрываются достоинства и недостатки основных способов стабилизации напряжения автономных инверторов солнечных фотоэлектрических станций. Предлагаются новые структурно-схемные решения автономных инверторов напряжения, раскрываются их достоинства, особенности конструкции и работы по стабилизации напряжения. Автономные инверторы, в конструкции которых применяется высокочастотное звено, позволит значительно улучшить массогабаритные показатели преобразователя. За счет применения в составе автономного инвертора однофазно-трехфазного трансформатора с вращающимся магнитным полем улучшается КПД преобразователя и показатели надежности работы. Новизна технических решений рассмотренных схем автономных инверторов напряжения, подтверждена патентами РФ. Рассмотренные в статье структурно-схемные решения стабилизаторов напряжения, а также особенности их работы, позволит повысить эффективность предпроектных работ по разработке автономных инверторов напряжения с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками для солнечных фотоэлектрических станций

In agricultural production, the direction of introduction of renewable energy for power consumers remote from the external electrical network is relevant. Here, prospects are revealed in front of the solar PV stations. One of the main functional units of solar power is inverters that convert the DC voltage of the solar panels into alternating current. The article describes the advantages and disadvantages of the main methods of voltage regulation of the autonomous inverters of solar photovoltaic power plants. We have proposed new structural designs of autonomous voltage inverters, described their advantages, features of design and operation for voltage stabilization. We suggest stand-alone inverters designed using high frequency link, which will significantly improve mass and dimensions parameters of the converter. Due to the use of single-phase transformer with a rotating magnetic field in stand-alone inverters, we improve the efficiency of the converter and the reliability of the work. Patents of the Russian Federation confirmed the novelty of technical solutions of the considered schemes of autonomous voltage inverters. Structural schematics of the voltage regulators considered in the article, as well as features of their work, will allow to increase efficiency of preliminary works on development of autonomous voltage inverters with improved operational and technical characteristics for solar photovoltaic power plants

Ключевые слова: СОЛНЕЧНЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, АВТОНОМНЫЕ
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ,

Keywords: SOLAR POWER, AUTONOMOUS
POWER SUPPLY SYSTEMS, STAND-ALONE
INVERTERS, AC VOLTAGE STABILIZERS

АВТОНОМНЫЕ ИНВЕРТОРЫ,
СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Doi: 10.21515/1990-4665-130-075

В сельскохозяйственном производстве актуальным является направление внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для электроснабжения потребителей отдаленных от внешней электрической сети. Как известно, выбор того или иного ВИЭ зависит от климатических условий и рельефа местности региона. Краснодарский край имеет высокий уровень валового (теоретического) потенциала солнечной энергетики, где за год наибольшая доля суммарной солнечной радиации в России, составляющая до 80 %. Поэтому перспективным является направление внедрения в сельском хозяйстве Краснодарского края солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС) [1–3].

Одним из основных функциональных элементов СФЭС являются автономные инверторы напряжения (АИН), преобразующие напряжение постоянного тока солнечных батарей в напряжение однофазного или трехфазного переменного тока. Вторая важная функция АИН – это осуществление стабилизации напряжения. Необходимость стабилизации выходного напряжения АИН обусловлена следующими причинами: изменением величины и характера нагрузки, а также величины входного напряжения [4, 5].

В зависимости от силовой схемы инвертора и места размещения исполнительного органа различают три основных способа стабилизации напряжения АИН (рисунок 1):

- по входному напряжению;
- по выходному напряжению;
- непосредственно силовой схемой инвертора.

Силовые схемы АИН могут быть выполнены как на транзисторах, так и на тиристорах. На рисунке 2 приведены

принципиальные электрические силовые схемы однофазных инверторов (на рисунке 2 показаны только первичные обмотки трансформаторов T).

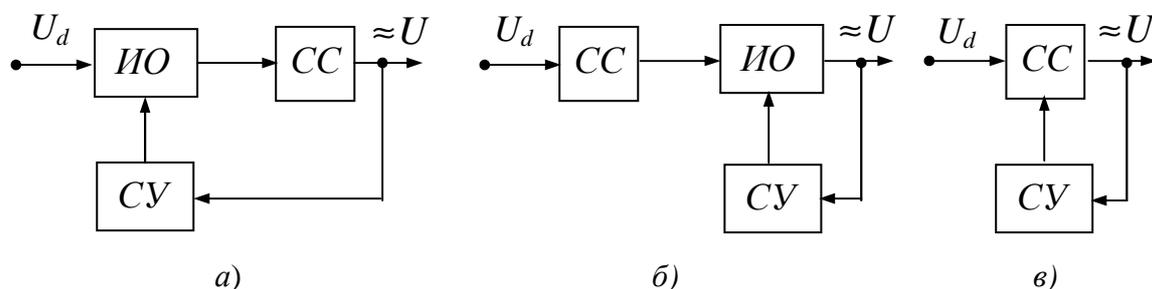


Рисунок 1 – Структурные схемы автономных инверторов напряжения:
 СС – силовая схема; ИО – исполнительный орган; СУ – система управления

Способ стабилизация по входному напряжению (рисунок 1 а) основан на зависимости выходного напряжения АИН от его входного напряжения. В качестве исполнительного органа применяется управляемый выпрямитель или импульсные регуляторы напряжения постоянного тока [6, 7].

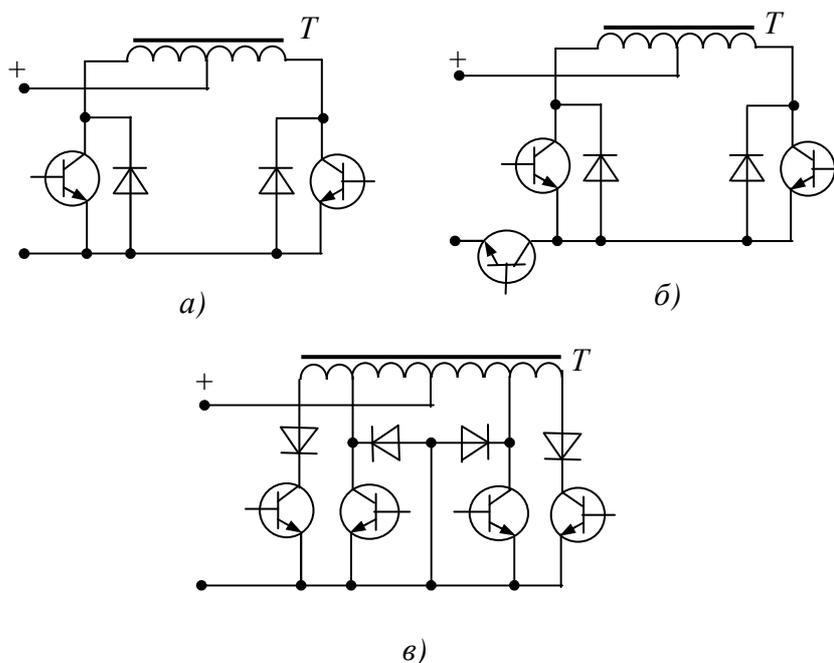


Рисунок 2 – Принципиальные силовые электрические схемы автономных инверторов

Способ стабилизация по выходному напряжению (рисунок 1 б) основан на использовании стабилизаторов напряжения переменного тока, выполненных с использованием дополнительных силовых электронных приборов и реактивных элементов, которые выполняют функцию компенсирующих устройств [8]. Компенсирующее устройство осуществляют стабилизацию выходного напряжения инвертора при изменении параметров нагрузки. На рисунке 3 пунктирными кривыми показаны внешние (нагрузочные) характеристики АИН при различных значениях коэффициента мощности $\cos\varphi$. Графики позволяют сделать вывод, что при изменениях тока нагрузки в диапазоне от I_{min} до I_{max} можно изменением величины коэффициента мощности $\cos\varphi$ поддерживать выходное напряжение АИН на одном уровне.

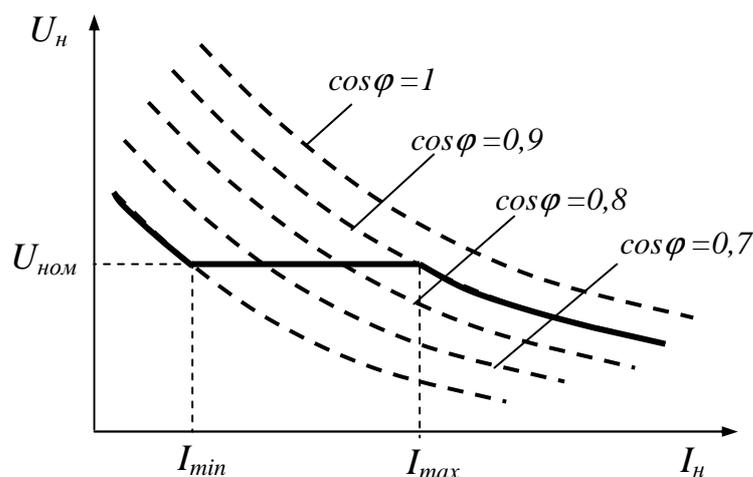


Рисунок 3 – Внешняя характеристика автономного инвертора

Функциональная схема АИН с компенсирующим устройством приведена на рисунке 4. Величина угла сдвига фаз между током и напряжением на выходе инвертора зависит от характера нагрузки Z_H , емкости конденсатора C_K и от индуктивности дросселя L_{KY} . Изменить индуктивность, рассмотренной цепи можно за счет изменения угла управления тиристорами $VS1$ и $VS2$ (чем больше время силовые

электронные приборы, тем больше значение индуктивности компенсирующего устройства). Следовательно, изменяя угол управления тиристорами можно изменять угол сдвига фаз между током и напряжением на выходе инвертора и обеспечивая тем самым стабилизацию напряжения.

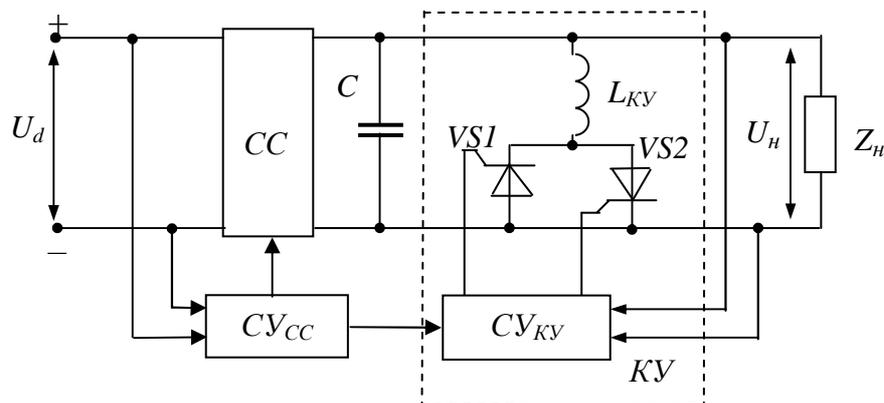


Рисунок 4 – Функциональная схема компенсирующего устройства (КУ) автономного инвертора: CV_{CC} – система управления силовой схемой инвертора; C , L_{KV} и CU_{KV} – конденсатор, дроссель и система управления компенсирующим устройством

Основным достоинством компенсирующего устройства является малое искажение формы выходного напряжения АИН благодаря наличию конденсатора C_k .

Стабилизировать выходное напряжение АИН можно за счет применения обратных выпрямителей (рисунок 5). Вход выпрямителя подключается к выходу АИН, а выход выпрямителя к его входу. Такое подключение выпрямителя с управляемыми силовыми электронными приборами позволяет создать путь обратному потоку электроэнергии относительно прямого потока электроэнергии АИН. Тем самым обеспечивается изменение соотношения активной и реактивной мощности автономного инвертора и, следовательно, изменяется и величина его выходного напряжения.

Рассмотренные способы стабилизации напряжения значительно ухудшают массогабаритные показатели, КПД и показатели надежности

АИН [8, 9]. Поэтому сегодня широко используются и развиваются способы стабилизации напряжения АИН основанные на изменении угла управления электронными (полупроводниковыми) приборами силовой схемы (рисунок 1 в). Такой способ основан на использовании широтно-импульсной модуляции выходного напряжения АИН, где стабилизация напряжения осуществляется за счет изменения длительности силовых импульсов, из которых формируется синусоидальное выходное напряжение или паузы между ними [6].

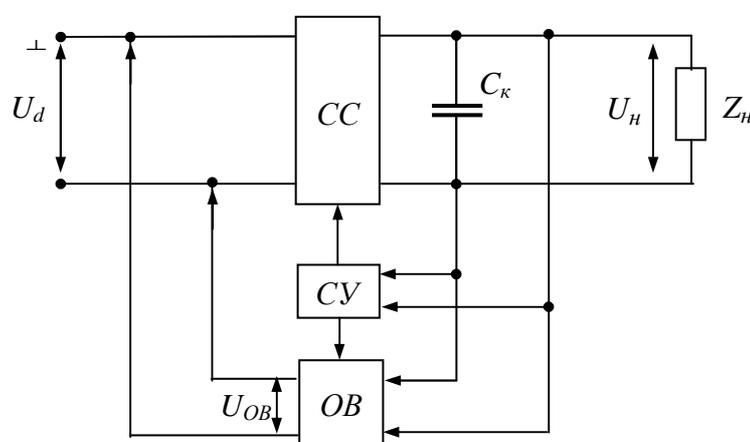


Рисунок 5 – Функциональная схема автономного инвертора с обратным выпрямителем (ОВ)

В некоторых случаях рациональным является способ стабилизации напряжения, основанный на геометрическом суммировании выходных напряжений двух АИН, сдвинутых между собой по фазе, изменять которую можно за счет изменения частоты следования управляющих импульсов одного из инверторов [8]. Этот способ применяется также, когда необходимо увеличить установленную мощность автономной системы электроснабжения (АСЭ). На рисунке 6 а показаны автономные инверторы $И1$ и $И2$, выходные трансформаторы $T1$ и $T2$ вторичные обмотки которых соединены последовательно. На рисунке 6 а не показаны выходные фильтры инверторов. В этом случае выходное напряжение каждого из АИН имеет прямоугольную форму (рисунок 6

б). При последовательном включении обмоток АИН напряжение на нагрузке U_n будет равно сумме напряжений инверторов $U_{И1}$ и $U_{И2}$. Особенностью метода геометрического сложения состоит в том, что напряжения инверторов должны быть синхронизированы по частоте. Если осуществлять сдвиг одного из напряжений, к примеру, инвертора $И2$ относительно напряжения инвертора $И1$ на угол α , то можно изменять напряжение на нагрузке в диапазоне от 0 до $2U_d$ (рисунок 6 б, в).

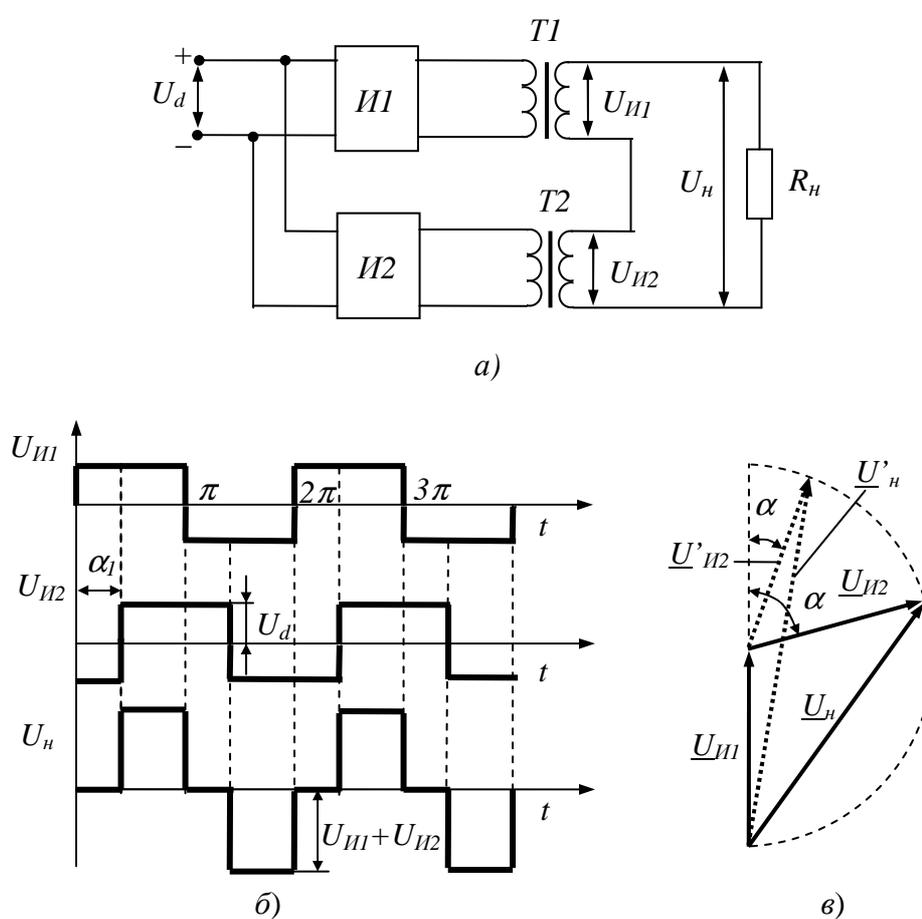


Рисунок 6 – Структурная схема (а), временные (б) и векторные диаграммы (в) стабилизации выходного напряжения инверторов

При этом, при уменьшении напряжения на нагрузке U_n , для его стабилизации, система управления инверторами уменьшает угол управления α , а при его повышении – увеличивает угол α .

Перспективным является направление применения в составе АИН трансформаторов с вращающимся магнитным полем (ТВМП). Однофазно-трехфазная конструкция ТВМП позволяет использовать однофазные АИН, уменьшить количество силовых электронных приборов и повысить тем самым КПД и показатели надежности автономного инвертора [10, 11].

Один из вариантов функциональной схемы АИН, выполненного на однофазно-трехфазном ТВМП, приведен на рисунке 7 [12].

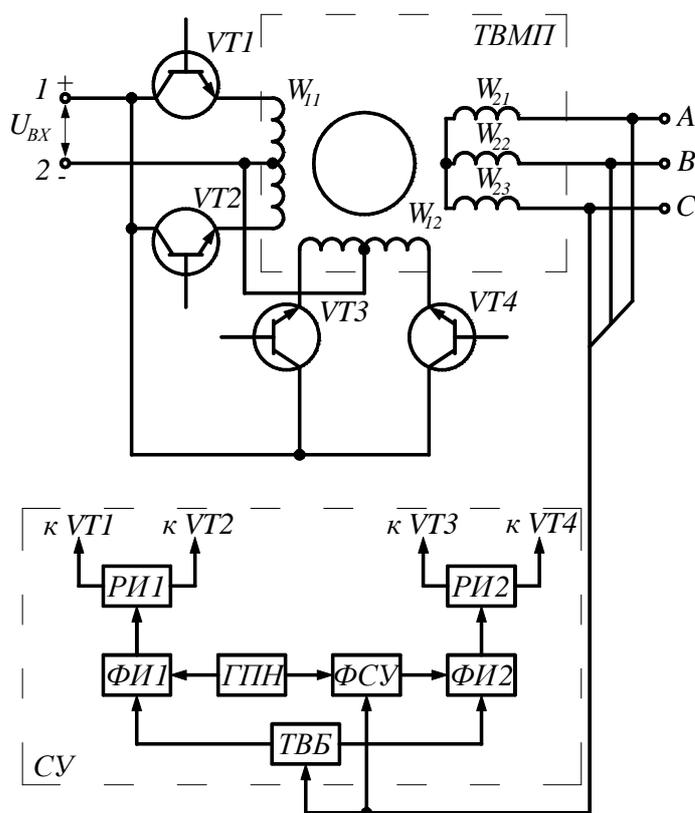


Рисунок 7 – Функциональная электрическая схема трёхфазного АИН на однофазно-трехфазном ТВМП: СУ – система управления; ТВБ – трансформаторно-выпрямительный блок; ФИ1 и ФИ2 – формирователи импульсов; ГПН – генератор пилообразного напряжения; ФСУ – фазосдвигающее устройство; РИ1 и РИ2 – распределители импульсов

Конструктивно однофазно-трехфазный ТВМП, выполняется на базе асинхронного двигателя с фазным ротором, две первичные обмотки W_{11} и W_{12} , размещаются на тороидальной части магнитопровода, которые сдвинуты между собой в пространстве друг относительно друга под углом

90° . Три вторичные обмотки W_{21} , W_{22} , W_{23} размещаются на сердечнике (роторе) ТВМП под углом 120° друг относительно друга и соединяются по схеме «звезда» [10].

Инвертор (рисунок 7) работает следующим образом. Напряжение источника постоянного тока U_{BX} прикладывается к входным выводам, которые являются входами первого и второго АИ. При переменной работе транзисторов $VT1$ и $VT2$, а также $VT3$ и $VT4$, в первичных обмотках ТВМП протекают переменные токи, вызывающие действие переменных магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 . В магнитопроводе эти потоки суммируются создавая суммарный поток Φ_Σ , который образует круговое вращающееся магнитное поле и вызывает действие ЭДС во вторичных обмотках W_{21} , W_{22} , W_{23} [12].

При дестабилизирующих факторах на выходных выводах инвертора A , B , C система управления $СУ$ обеспечивает стабилизацию выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ за счет изменения времени открытого состояния транзисторов $VT1 - VT4$.

Для улучшения массогабаритных показателей АИН необходимо чтобы силовая схема АИН, преобразовывала напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока повышенной частоты, а реверсивный выпрямитель повышенной частоты тока понижал до уровня промышленной. На рисунке 8 приведена функциональная схема АИН, выполненного на высокочастотной силовой схеме и реверсивном выпрямителе [13, 14].

АИН содержит: входной фильтр, выполненный на конденсаторе C однофазный инверторный мост $ИМ$ выполненный на транзисторах $VT1 - VT4$ и диодах $VD1 - VD4$, однофазный трансформатор T , вторичная обмотка которого содержит среднюю точку, реверсивный выпрямитель $PВ$ выполненный на тиристорах $VS1 - VS4$, выходной фильтр Φ , систему управления инверторным мостом $СУ_{ИМ}$ и реверсивным выпрямителем

$СУ_{PB}$. Система управления инверторного моста $СУ_{IM}$ содержит генератор пилообразного напряжения $ГПН$, формирователь импульсов $ФИ$, трансформаторно-выпрямительный блок $ТВБ$, распределитель импульсов $РИ$, первый и второй усилители импульсов $УИ1$ и $УИ2$. Система управления реверсивного выпрямителя $СУ_{PB}$ содержит блок синхронизации $БС$, задающий генератор $ЗГ$, генератор типа кривой $ГТК$, Логические элементы $И1$ и $И2$, распределители импульсов $РИ1$ и $РИ2$, а так же усилители импульсов $УИ3$ и $УИ4$ [13].

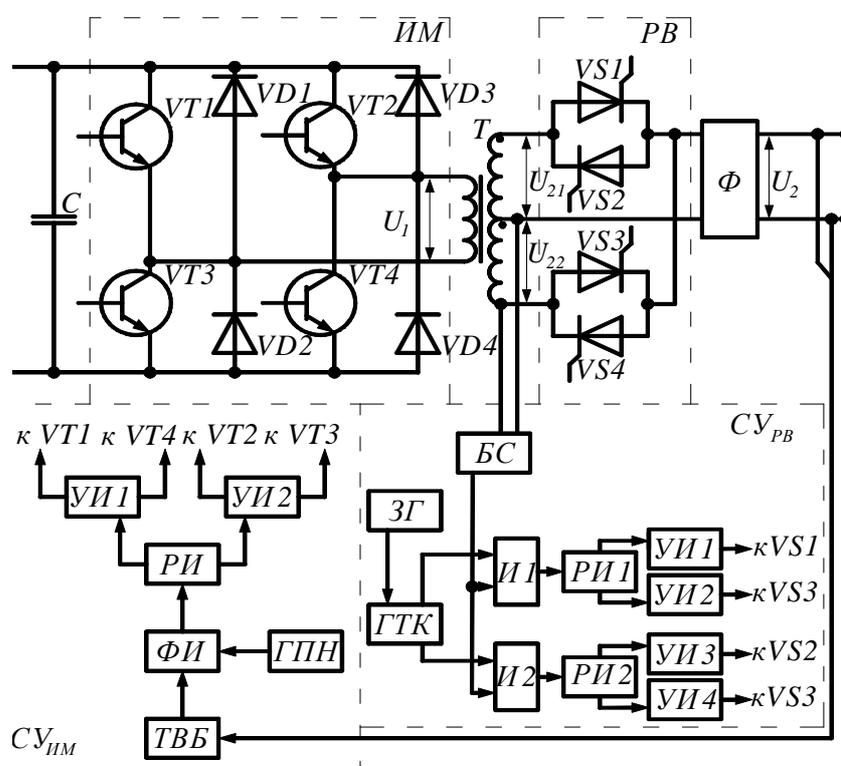


Рисунок 8 – Функциональная схема АИН на реверсивном выпрямителе

АИН на реверсивном выпрямителе работает следующим образом. Напряжение постоянного тока от источника прикладывается к входу инверторного моста $ИМ$, на выходе которого формируется переменное высокочастотное напряжение U_1 , которое прикладывается к первичной обмотке и преобразуется до требуемого уровня необходимого для нагрузки.

Реверсивный выпрямитель PB понижает частоту напряжения до необходимого уровня для потребителей электроэнергии, а выходной фильтр Φ обеспечивает требуемое качество выходного напряжения.

К примеру, при уменьшении напряжения на выходе АИН сигнал $u_{ТВБ}$ на выходе $ТВБ$ уменьшается и, как следствие, уменьшается угол управления транзисторами, тем самым увеличивая время открытого состояния транзисторов схемы инвертирования, что увеличивает длительность импульсов и величину напряжения U_I и соответственно увеличивается и величина выходного напряжения АИН (см. рисунок 8).

Повысить надежность работы АИН на реверсивном выпрямителе можно за счет применения в конструкции его трансформатора среднюю точку в первичной обмотке. Это позволит применить двухтранзисторную схему, преобразующую напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока, упростить систему управления АИН и уменьшить уровень электромагнитных помех, создаваемых силовыми электронными приборами [6, 15].

Применение вместо тиристорov в реверсивном выпрямителе транзисторов также способствует улучшению показателей надежности АИН.

Рассмотренные в статье структурно-схемные решения стабилизаторов напряжения АИН, а также особенности их работы, позволит повысить эффективность предпроектных работ по разработке АИН с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками для СФЭС.

Список литературы

1. Григораш О. В. Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников электроэнергии в Краснодарском крае / О. В. Григораш, В. В. Тропин, А. С. Оськина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2012. – № 09 (083). С. 188–199. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/09/pdf/38.pdf>.

2. Григораш О. В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края / О. В. Григораш, А. А. Хамула, А. В. Квитко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 08 (092). С. 630–641. – IDA [article ID]: 0921308012. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/12.pdf>.

3. Атрощенко В. А. Современное состояние и перспективы развития систем автономного электроснабжения [Текст] В. А. Атрощенко, О. В. Григораш, В. В. Ланчу // Промышленная энергетика. – 1994. – № 5. – С.33–36.

4. Григораш О. В. Нетрадиционные автономные источники электроэнергии / О. В. Григораш, Ю. П. Стрелков [Текст] // Промышленная энергетика. – 2001. – № 4. – С. 37–40.

5. Григораш О. В. Ресурсы солнечной энергии, особенности конструкции и работы солнечных фотоэлектрических установок / О. В. Григораш, А. Е. Усков, А. Г. Власов [Текст] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 43. – С. 263–266.

6. Григораш О. В. Статические преобразователи электроэнергии [Текст] / О. В. Григораш, О. В. Новокрещенов, А. А. Хамула и др. – Краснодар. – 2006. – 264 с.

7. Григораш О. В. Стабилизаторы напряжения постоянного тока / О. В. Григораш, М. А. Попучиева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №05(129). С. 1043 – 1056. – IDA [article ID]: 1291705074. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/74.pdf>.

8. Григораш О. В. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш, Ю. П. Степура, А. Е. Усков. – Краснодар. – 2011. – 188 с.

9. Григораш О. В. К вопросу электромагнитной совместимости основных узлов систем автономного электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш, А. В. Дацко, С. В. Мелехов // Промышленная энергетика. – 2001. – № 2. – С.44– 47.

10. Григораш О. В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш // Промышленная энергетика. – 1997. – № 7. – С.21– 25.

11. Григораш О. В. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии [Текст] / О. В. Григораш, Ю. А. Кабанков // Электротехника. – 2002. – № 3. – С.22–26.

12. Патент 2426216, Российская Федерация, С1 МПК H02M 7/53. Трехфазный инвертор [Текст] / О. В. Григораш, Ю. П. Сепура, Е. А. Власенко, А. Е. Усков, Ю. В. Шиян; заявитель и патентообладатель КГАУ. – № 2010105573/07; заявл. 16.02.2010; опубл. 10.08.2011, бюл. № 22. – 9 с.

13. Патент 2420855, Российская Федерация, С1 МПК H02M 7/539. Преобразователь напряжения постоянного тока на реверсивном выпрямителе [Текст] / Ю. П. Степура, О. В. Григораш, Е. А. Власенко, А. Е. Усков, Ю.М. Петренко; заявитель и патентообладатель КГАУ. – № 2010119106/07; заявл. 11.05.2010; опубл. 10.06.2011, бюл. № 16. – 9 с.

14. Патент 2414802, Российская Федерация, С1 МПК H02M 7/539. Преобразователь напряжения постоянного тока с промежуточным звеном повышенной частоты [Текст] / О. В. Григораш, Ю. П. Степура, А. Е. Усков, Е. А. Власенко, А. В.

Винников; заявитель и патентообладатель КГАУ. – № 2010112018/07; заявл. 29.03.2010; опубл. 20.03. 2011, бюл. № 8. – 7 с.

15. Григораш О. В. Электрические аппараты низкого напряжения [Текст] / О. В. Григораш, Н. И. Богатырев, Н. Н. Курзин, Г. В. Тельнов. – Краснодар: КубГАУ. – 2000. – 313 с.

References

1. Grigorash O. V. Ob jeffektivnosti i celesoobraznosti ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jelektrojenergii v Krasnodarskom krae / O. V. Grigorash, V. V. Tropin, A. S. Os'kina // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar : KubGAU, 2012. – № 09 (083). S. 188–199. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/09/pdf/38.pdf>.

2. Grigorash O. V. Resursy vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии Krasnodarskogo kraja / O. V. Grigorash, A. A. Hamula, A. V. Kvitko // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar : KubGAU, 2013. – № 08 (092). S. 630–641. – IDA [article ID]: 0921308012. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/12.pdf>.

3. Atroshhenko V. A. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija [Tekst] V. A. Atroshhenko, O. V. Grigorash, V. V. Lanchu // Promyshlennaja jenergetika. – 1994. – № 5. – S.33–36.

4. Grigorash O. V. Netradicionnye avtonomnye istochniki jelektrojenergii / O. V. Grigorash, Ju. P. Strelkov [Tekst] // Promyshlennaja jenergetika. – 2001. – № 4. – S. 37–40.

5. Grigorash O. V. Resursy solnechnoj jenerгии, osobennosti konstrukcii i raboty solnechnyh fotojelektricheskikh ustanovok / O. V. Grigorash, A. E. Uskov, A. G. Vlasov [Tekst] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 43. – S. 263–266.

6. Grigorash O. V. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii [Tekst] / O. V. Grigorash, O. V. Novokreshhenov, A. A. Hamula i dr. – Krasnodar. – 2006. – 264 s.

7. Grigorash O. V. Stabilizatory naprjazhenija postojannogo toka / O. V. Grigorash, M. A. Popuchieva // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – №05(129). S. 1043 – 1056. – IDA [article ID]: 1291705074. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/74.pdf>.

8. Grigorash O. V. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, Ju. P. Stepura, A. E. Uskov. – Krasnodar. – 2011. – 188 s.

9. Grigorash O. V. K voprosu jelektromagnitnoj sovmestivosti osnovnyh uzlov sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, A. V. Dacko, S. V. Melehov // Promyshlennaja jenergetika. – 2001. – № 2. – S.44– 47.

10. Grigorash O. V. Preobrazovateli jelektricheskij jenerгии na baze transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem dlja sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija [Tekst] / O. V. Grigorash // Promyshlennaja jenergetika. – 1997. – № 7. – S.21– 25.

11. Grigorash O. V. K voprosu primenenija transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenergii [Tekst] / O. V. Grigorash, Ju. A. Kabankov // Jelektrotehnika. – 2002. – № 3. – S.22–26.

12. Patent 2426216, Rossijskaja Federacija, C1 MPK H02M 7/53. Trehfaznyj invertor [Tekst] / O. V. Grigorash, Ju. P. Sepura, E. A. Vlasenko, A. E. Uskov, Ju. V. Shijan; zajavitel' i patentoobladatel' KGAU. – № 2010105573/07; zajavl. 16.02.2010; opubl. 10.08.2011, bjul. № 22. – 9 s.

13. Patent 2420855, Rossijskaja Federacija, C1 MPK H02M 7/539. Preobrazovatel' naprjazhenija postojannogo toka na reversivnom vyprjamatele [Tekst] / Ju. P. Stepura, O. V. Grigorash, E. A. Vlasenko, A. E. Uskov, Ju.M. Petrenko; zajavitel' i patentoobladatel' KGAU. – № 2010119106/07; zajavl. 11.05.2010; opubl. 10.06.2011, bjul. № 16. – 9 s.

14. Patent 2414802, Rossijskaja Federacija, C1 MPK H02M 7/539. Preobrazovatel' naprjazhenija postojannogo toka s promezhutochnym zvenom povyshennoj chastoty [Tekst] / O. V. Grigorash, Ju. P. Stepura, A. E. Uskov, E. A. Vlasenko, A. V. Vinnikov; zajavitel' i patentoobladatel' KGAU. – № 2010112018/07; zajavl. 29.03.2010; opubl. 20.03. 2011, bjul. № 8. – 7 s.

15. Grigorash O. V. Jelektricheskie apparaty nizkogo naprjazhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, N. I. Bogatyrev, N. N. Kurzin, G. V. Tel'nov. – Krasnodar: KubGAU. – 2000. – 313 s.